الباب الأول

الكميات الفيزيقية والوحدات وأئمة القياس

Physical quantities, units and standards

١ - ١ الكميات الفيزيقية :

هى التى تبنى هيكل الفيزيقا وبها تكتب المعادلات والقوانين الفيزيقية :

من هذه الكميات : القوة — الزمن - السرعة - الكثافة - درجة الحرارة - الشحنة وغير ذلك . وتنقسم الكميات الفيزيقية إلى قسمين .

ا - كميات اساسيه (fundamental quantities)

هى الطول والكتلة والزمن .

ب - كميات مشتقة (derived quantities)

مثل الحجم والسرعة والعجلة وغير ذلك من الكميات .

١ - ٢ الوحدات : (Units)

هى ما تعبر بها الكميات الفيزيقية . ولها فى الغالب ثلاث أنظمة مبنية على وحدات الكميات الاساسية وهى :

ا - النظام الفرنسى المطلق .

متر — كيلو جرام — ثانية (M.K.S. system)

ب - النظام الفرنسى المطلق :

سنتمتر - جرام - ثانية (C.G.S. system)

جـ - النظام البريطاني :

قدم - باوند - ثانية (F.P.S. system)

١ - ٣ ائمة القياس : (Standards)

هي الصور المادية للوحدات الأساسية ويشترط فيها توافر الدقة والثبات :

ا - المتر : هو وحدة الطول ويمثل بالمسافة المقاسة عند درجة الصفر المئوى وتحت الضغط الجوى العادى - بين محورى شريطين متوازيين مخطوطين على قضيب من سبيكة مركبة من ٩٠٪ من البلاتين ، ١٠٪ من الاريديوم محفوظة بالمكتب الدولى للموازين والمقاييس بباريس .

وحديثا تم الاتفاق دوليا على اختيار طول موجة الضوء البرتقالى المنبعث من ذرات الكريبتون - ٨٦ (نتيجة التفريغ الكهربائى) أساسا للمقاييس الطولية. ويعرف المتر الدولى العيارى بأنه يساوى ١٦٥٠٧٦٣٫٧٣ مرة قدر طول هذه الموجة .

ب - الكيلو جرام : هو وحدة الكتلة ويمثل باسطوانة من سبيكة مركبة من ٩٠٪ من البلاتين ، ١٠٪ من الايريديوم محفوظة بالمكتب الدولى للموازين والمقاييس بباريس. وقطر هذه الاسطوانة وطولها متساويان ومقدار كل منهما يقرب من ٣٩ مم .

جـ - الثانيه : هى وحدة الزمن. وهى جزء من ٣١٥٥٦٩٢٥٫٩٧٥ من الزمن الذى استغرقته السنة الاستوائية ١٩٠٠ . ويعرف السنة الاستوائية بأنها الفترة الزمنية بين مرور الشمس مرتين متعاقبتين فى نفس الاتجاه بالمستوى الاستوائى الارض وكان طول هذه السنة

٣٦٥ر٢٤٢١٩٧٨٧ يوما سنة ١٩٠٠ وتنقص هذه السنة بمعدل ٠٠٠٠٠٠٦١٤ر٠ يوما لكل قرن من الزمان .

١ - ٤ الوحدات المشتقه :

هى التى تتوقف على قوى الأس (Power) للوحدات الاساسية . فمثلا وحدات المساحة هى السنتمتر المربع والكثافة جرام / سنتمتر^3 . ووحدة الحجوم هى اللتر . ويعرف اللتر بأنه حجم واحد كيلو جرام من الماء النقى فى درجة الحرارة التى تكون فيها كثافة الماء أقصى ما يمكن فى الضغط الجوى العادى .

١ - ٥ ابعاد الكميات الفيزيقية :

تكتب أبعاد الكميات الاساسية (الطول والكتلة والزمن) بالرموز L ، M ، T على الترتيب . ومن ذلك يمكن ايجاد أبعاد الكميات المشتقة هكذا على سبيل المثال :

ا : الكثافة = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$

∴ أبعاد الكثافة = $\frac{M}{L^3} = ML^{-3}$

ب : السرعة الخطية = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$

∴ أبعاد السرعة الخطية = $\frac{L}{T} = LT^{-1}$

ﺟ : السرعة الزاوية $=$ $\dfrac{\text{السرعة الخطية}}{\text{نصف قطر الدوران}}$

∴ أبعاد السرعة الزاوية $= \dfrac{LT^{-1}}{L} = T^{-1}$

ء : القوة $=$ الكتلة $\times$ العجلة

∴ أبعاد القوة $= LT^{-2} \times M = MLT^{-2}$

١ – ٦ استخدام معادلات الأبعاد – التحليل البعدى :

(dimensional analysis) :

ا – اختبار صحه القوانين ·

القوانين الفيزيقية لابد أن تكون متجانسة الأبعاد . فمثلا قانون البندول البسيط هو :

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

فاذا كتبنا معادلة الأبعاد لهذا القانون فاننا نعتبر (2π) عدد لايعتمد على أى من الوحدات الأساسية وعلى ذلك فليس له وجود فى معادلة الأبعاد .

أبعاد الطرف الأيمن :

$$(L/LT^{-2})^{\frac{1}{2}} = T$$

أى تساوى أبعاد الطرف الأيسر ، وعلى ذلك يكون القانون صحيحا .

ب - ايجاد العلاقة بين الكميات الفيزيقية (استنتاج القوانين) :

ب - ١ قانون مكون من حد واحد :

نفرض أن قانون البندول البسيط غير معروف ومطلوب إيجاده :

من المعلوم أن زمن ذبذبة البندول البسيط يتوقف على طوله وعلى كتلة الكرة الصغيرة المعلقة وعلى جاذبية الأرض .

وعلى ذلك يمكن كتابة قانون البندول البسيط كالآتى :

$$t = f(l, m, g)$$

حيث (f) دالة مطلوب معرفتها .

$$\therefore T = k\, l^{\alpha}\, m^{\beta}\, g^{\gamma}$$

حيث (k) كمية ثابتة لاتتوقف على أى وحدة أساسية . وبكتابة معادلة الأبعـــاد

$$\therefore T = k\, L^{\alpha}\, M^{\beta}\, (T^{-2})\, \gamma$$

$$= k\, L^{\alpha+\gamma}\, M^{\beta} T^{-2\gamma} \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

وحيث أن المعادلة يجب أن تكون متجانسة . أىَ أن أس أى بعد فى الطرف الأول يجب أن تساوى أس نفس البعد فى الطرف الثانى وحيث أن (k) عدد ثابت لا وجود له فى معادلة الأبعاد :

من قوى L $\quad \therefore \alpha + \gamma = 0$

من قوى M $\quad \beta = 0$

من قوى T $\quad -2\gamma = 0$

$$\therefore \alpha = \tfrac{1}{2} \quad , \beta = 0 \quad , \quad \gamma = -\tfrac{1}{2}$$

وبالتعويض فى المعادلة (١) :

$$\therefore\ t = k\, l^{\frac{1}{2}}\, g^{-\frac{1}{2}}$$

$$= k\sqrt{\frac{l}{g}}$$

وقد وجد عمليا أن : $k = 2\pi$

$$\therefore\ t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

مثال اخر فى الصوت

نفرض أن المطلوب إيجاد تردد سلك مشدود :

نعلم أن التردد (n) يتوقف على

(١) كتلة وحدة الأطوال من السلك ($\frac{m}{l}$) حيث (m) كتلة السلك ، (l) طوله

(٢) طول السلك (l)

(٣) قوة الشد فى السلك (F)

∴ قانون التردد :

$$n = k\left(\frac{m}{l}\right)^{\alpha} l^{\beta} F^{\gamma} \qquad \dots\ \dots\ \dots\ (٤)$$

وبكتابة معادلة الأبعاد :

$$\therefore\ T^{-1} = k\left(\frac{M}{L}\right)^{\alpha} L^{\beta}\left(MLT^{-2}\right)^{\gamma}$$

$$= k\, M^{\alpha+\gamma}\, L^{\beta+\gamma-\alpha}\, T^{-2\gamma}$$

وبمساواة أس كل بعد :

من قوى T $\therefore \quad -1 = -2\gamma$

من قوى M $\quad ، \quad \alpha + \gamma = 0$

من قوى L $\quad ، \quad \beta + \gamma - \alpha = 0$

$$\therefore \gamma = \tfrac{1}{2} \quad , \quad \alpha = -\tfrac{1}{2} \quad , \quad \beta = -1$$

وبالتعويض فى المعادلة (٢) :

$$\therefore \quad n = k\left(\frac{m}{l}\right)^{-\frac{1}{2}} \ l^{-1} \ F^{\frac{1}{2}}$$

$$= k\sqrt{\frac{F}{ml}}$$

وقد وجد عمليا أن : $k = \tfrac{1}{2}$

∴ قانون تردد السلك المشدود :

$$n = \tfrac{1}{2}\sqrt{\frac{F}{m\,l}}$$

ب — **قانون مكون من حدين :**

إذا كان القانون مكونا من حدين فان الصورة الحقيقية للمعادلة لا يمكن إيجادها بكل بساطة بالطريقة السابقة . مثال ذلك نفرض أن المطلوب هو إيجاد معادلة المسافة التى يتحركها جسم بعجلة منتظمة .

نعلم أن المسافة (d) التى يتحركها جسم تتوقف على سرعته (u) وعلى عجلته (a) وعلى الزمن (t) :

$$\therefore\ d = k\, u^{\alpha} a^{\beta}\, t^{\gamma}$$

حيث (k) مقدار ثابت .

وبكتابة أبعاد كل كمية ومساواة أس كل كمية بمثيله فى الطرف الآخر من المعادلة :

$$\therefore\ \alpha + \beta = 1$$

$$،\ -\alpha - 2\beta + \gamma = 0$$

أى أن لدينا معادلتين فقط فيهما ثلاث مجاهيل ولذا لا يمكن تعيينها وبالتالى لا يمكن الحصول على القانون المطلوب .

لذا فان المسألة تحل على مرحلتين كالآتى :

أولا : إذا تحرك الجسم بدون عجلة فإن :

$$d = k_1\, u^{\alpha}\, t^{\gamma}$$

$$\therefore\ L = \left(LT^{-1}\right)^{\alpha}\ (T)^{\gamma}$$

$$\therefore\ \alpha = 1 \quad ، \quad -\alpha + \gamma = 0$$

$$\therefore\ \alpha = \gamma = 1$$

$$\therefore\ d = k_1\, u\, t$$

ثانيا : إذا تحرك الجسم بدون سرعة ابتدائية :

$$\therefore\ d = k_2\, a^{\beta}\, t^{\gamma}$$

$$\therefore\ L = (LT^{-2})^{\beta}\ (T)^{\gamma}$$

$$\therefore\ \beta = 1 \quad ، \quad -2\beta + \gamma = 0$$

$$\therefore \gamma = 2$$

$$\therefore d = k_1 a t^2$$

وإذا شملت حركة الجسم الحالتين معا أى العجلة والسرعة الابتدائية ، فإن معادلة الحركة تشمل المعادلتين السابقتين أى أن :

$$d = k_1 u t + k_2 a t^2$$

وقد وجد عمليا أن : $(1 = k_1)$ ، $(\frac{1}{2} = k)$

$$\therefore d = ut + \frac{1}{2} a t^2$$

جـ ـ تحويل مقدار اى كميه فيزيقيه بوحدات من نوع معين الى مقدار بوحدات اخرى :

من المعلوم أن حاصل ضرب مقدار أى كميه فيزيقية فى أبعاد الوحـــدات المعرفة بها يساوى ثابت .

مثال ١ : نفرض أن المطلوب إيجاد مقدار الضغط الجوى بالوحدات البريطانية المطلقة إذا علم أن مقداره بالوحدات الفرنسية هو ١٫٠١٣ × ١٠^{7} داين/سم^{2} .

وأن ١ باوند = ٤٥٣٫٩ جم

، ١ قدم = ٣٠٫٤٨ سم

نفرض أن أبعاد الكتلة والطول بالوحدات الفرنسية (الجرام والسنتيمتر) هى M_1 ، L_1 وأبعاد الكتلة والطول بالوحدات البريطانية (الباوند والقدم) هى M_2 ، L_2 . وأبعاد الزمن فى الحالتين (الثانية) هى T .

$$\therefore 1.013 \times 10^6 \times M_1 L_1^{-1} T^{-2} = x M_2 L_2^{-1} T^{-2}$$

حيث (x) هو مقدار الضغط بالوحدات البريطانية .

وبالتعويض فى هذه المعادلة بعد وضع :

$$L_2 = 30.48\ L_1$$

$$M_2 = 453.6\ M_1$$

$$\therefore\ x = 1.013 \times 10^6\ \frac{M_1}{M_2}\ \frac{L_2}{L_1}$$

$$= 1.013 \times 10^6 \times \frac{30.48}{453.6}$$

$$= 6.806 \times 10^4 \times \text{Poundal/foot}^2$$

مثال ٢ : المطلوب إيجاد مقدار التوتر السطحى للماء بالوحدات البريطانية إذا علم أن مقداره بالوحدات الفرنسية ٧٣ داين/سم .

يعرف التوتر السطحى لسائل بأنه القوة التى تؤثر فى إتجاه عمودى على وحدة الاطوال من سطح السائل . وعلى ذلك تكون أبعاد التوتر السطحى :

$$MT^{-2} = \frac{M\,L\,T^{-2}}{L} = \frac{\text{أبعاد القوة}}{\text{أبعاد الطول}}$$

$$\therefore\ 73 \times M_1T^{-2} = x \times M_2T^{-2}$$

حيث (x) مقدار التوتر السطحى بالوحدات البريطانية ، (M_1) بعد الكتلة بالوحدات الفرنسية (الجرام) ، (M_2) بعد الكتلة بالوحدات البريطانية (الباوند) .

$$\therefore\ x = 73\ \frac{M_1}{M_2}$$

$$= 73 \times \frac{1}{453.6} = 0.161\quad \text{Poundal/foot}$$

مثال ٣ . أوجد قيمة قدرة الحصان الميكانيكى بالوحدات (وات) إذا علم أن قيمته ١٧٦٠٠ قدم باوندال / الثانية وأن الباوند = ٤٥٤ جم .

أبعاد القدرة هى $ML^2\ T^{-3}$

$$\therefore \quad 17600 \times M_1\ L_1^2\ T^{-3} = x\ M_2\ L_2^2\ T^{-3}$$

$$\therefore \quad x = 1760\ \frac{M_1}{M_2}\ \ \frac{L_1^2}{L_2^2}$$

$$= 1760 \times 454 \times (12 \times 2.54)^2 \quad erg/sec$$

$$= \frac{1760 \times 454 \times (12 \times 2.54)^2}{10^7}\ watts$$

$$= 746 \quad watts$$

تمارين

١ — أستنتج معادلة سرعة الأمواج التى تنتقل خلال خيط مشدود إذا علم أن السرعة تتوقف على قوة الشد فى الخيط وطولة .

نفرض أن سرعة الأمواج هى (v) وقوة الشد فى الخيط هى (F) وكتلة الخيط هى (m) وطوله (l) .

$$\therefore \quad v = f\,(F\,,\,m\,,\,l\,)$$

حيث (f) هى الدالة المراد معرفتها.

$$\therefore \quad v = kF^{\alpha}\ m^{\beta}\ l^{\gamma}$$

وباستخدام الأبعاد

$$\therefore \quad (LT^{-1}) = (MLT^{-2})^{\alpha}\ (M)^{\beta}\ (L)^{\gamma}$$

وبمساواة أس كل بعد

$$\therefore \quad \alpha + \beta = 0\,,\ \alpha + \gamma = 1\,,\ 2\gamma = 1$$

$$\therefore \quad \alpha = \tfrac{1}{2}\,,\ \beta = -\tfrac{1}{2}\,,\ \gamma = \tfrac{1}{2}$$

$$\therefore \quad v = k\sqrt{\frac{F\,l}{m}}$$

حيث (k) مقدار ثابت

٢ — يعرف معامل اللزوجة (η) بأنه القوة السطحية المؤثرة على وحدة المساحات من كل من طبقتين من السائل أو الغاز بينهما إنحدار سرعة قدره ثانية⁻١

$$\left[\ \text{انحدار السرعة} = \frac{\text{فرق السرعة}}{\text{المسافة}}\ \right]$$

أحسب مقدار لزوجة الهواء بالوحدات البريطانية(FPS) إذا علم أن مقدارها بالوحدات الفرنسية هو ٠٫٠٠٠١٧ جم سم$^{-1}$ ثانية$^{-1}$.

(الجواب : ١٫١٤٢ × ١٠$^{-5}$ باوندقدم$^{-1}$ ثانية$^{-1}$)

٣ — إذا علم أن المدى (R) للجسم المقـــذوف بزاوية ما من الأفقى يتوقف فى حالة قذفه فى فراغ على سرعه القذف (v) وعلى عجلةالجاذبية (g) أوجد العلاقة بين هذه الكميات .

(الجواب : $R g = k v^2$)

٤ — استخدم معادلات الأبعاد فى إثبات أن حجم السائل المـار فى الثانية فى أنبوبة شعرية يساوى :

$$\text{ثابت} \times \frac{P\ a^4}{\eta\ l}$$

حيث (a) نصف قطر الأنبوبة ، (l) طولها ، (P) فرق الضغط بين طرفى الأنبوبة ، (η) معامل لزوجة السائل . علما بأن حجم السائل المـار فى الثانية $\left(\frac{Q}{t}\right)$ دالة لكل من نصف القطر (a) ، انحدار الضغط $\left(\frac{P}{l}\right)$ ، اللزوجة (η)